



İKİ BOYUTLU DİKDÖRTGEN, PERDELİ VE PERDESİZ BİR TANKTAKİ SIVI ÇALKANTISININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Gülbüz Bilici¹, U. Oral Ünal¹ ve Hakan Akyıldız¹
¹Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi - İTÜ, İstanbul

ABSTRACT

In this study, the liquid sloshing in a closed, partially-filled, T-shaped baffled and unbaffled two-dimensional rectangular tank was numerically investigated. The tank was rotated with two different rotation angles of 4^0 and 8^0 , and a fixed angular velocity of 3.3 rad/s, which was determined by taking the natural frequency of the tank into consideration, for the filling rates of 50% and 75%. The rotation angles, filling rates and baffle heights were systematically varied and the effect of these parameters on the hydrodynamic loads on the tank wall and free surface elevations were examined. Correspondingly, the hydrodynamic loads on the tank wall and free surface elevations were systematically examined. The calculations were carried out in two different ways, by means of laminar and turbulent viscous flow solvers, which use the finite differences and finite volume discretisation techniques, respectively. In both methods, the sloshing motion was solved with an algorithm involving the “volume of fluid” technique. The analyses pointed out the agreement of the results obtained with two different numerical techniques applied. it was found that the baffle was effective in pressure and wave damping when its height was greater than 80% of the liquid level.

ÖZET

Bu çalışmada, kısmi dolu, kapalı, T-şekilli perdeli ve perdesiz iki boyutlu dikdörtgen bir tank içindeki sıvı çalkantısı sayısal olarak incelenmiştir. Tank, %50 ve %75 doluluk oranları için, 4^0 ve 8^0 olmak üzere iki farklı dönme açısı ve tankın doğal frekansı dikkate alınarak belirlenen 3.3 rad/s sabit açısal hız ile ele alınarak hareket ettirilmiştir. Dönme açısı, tank doluluk oranı ve perde yükseklikleri sistematik olarak değiştirilerek bu parametrelerin tank duvarındaki hidrodinamik yükler ve dalga yükseklikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hesaplamalar, sırasıyla, sonlu farklar ve sonlu hacim ayrıklaştırması kullanılarak laminar ve türbülanslı viskoz akış çözücüler vasıtasıyla iki farklı biçimde gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntem de çalkantı hareketi akışkan hacmi tekniğine dayalı bir algorithmadan yararlanılarak çözülmüştür. Analizler neticesinde her iki yöntem ile elde edilen sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür. Perdenin, yüksekliğinin sıvı seviyesinin %80’inden daha büyük olduğu durumlarda basınç ve dalga sönümlemesinde etkili olduğu görülmüştür.

GİRİŞ

Sıvı çalkantısı, deprem yükleri altındaki büyük sıvı depolama tankları, uçaklarda ve uzay araçlarındaki yakıt tankları, gemilerdeki sıvı tankları gibi çeşitli dinamik sistemlerde, insan hayatı, çevre kirliliği ve potansiyel ekonomik kayıplar açısından önemli bir mühendislik problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sistemlerin dinamik davranışları çoğunlukla serbest sıvı yüzeyinin dinamiğinden etkilenmektedir. Kısmi dolu tanklarda, eğer tank hareketinin

periyodu tankın doğal periyoduna yaklaşırsa tankın içindeki sıvıda çalkantı hareketi beklenmelidir. Bu yüzden, çalkantı hareketinin başladığı zorlama periyodunun tespiti önemlidir [1, 2].

Bilgisayar ve ölçme teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak, tanklardaki sıvı çalkantı problemi konusundaki çalışmalar birçok araştırmacı tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmalar, genellikle nümerik ve deneysel çalışmalar olarak, tank hareketinin frekansı ve genliği, sıvı derinliği, sıvının özellikleri ve tankın geometrisi dikkate alınarak sürdürülmektedir. Tank hareketine neden olan zorlama kuvvetinin şekline ve frekansına bağlı olarak, sıvının serbest yüzeyinin dinamik davranışı tankı etkilemeye başlar. Zorlama kuvveti, kısa zamanlı ani hareket şeklinde, sinüzoidal, periyodik ve rastgele olabilir. Tank hareketinin şekli ise bir eksen etrafında dönme, yatay hareket ya da bunların bileşiminden oluşabilir. Bu çerçevede, içinde kısmi dolu sıvı olan herhangi bir tanktaki çalkantı hareketi, oluşan yapısal yüklerin incelenmesi, simetrik ve simetrik olmayan su yüzeyi etkileri geniş olarak değişik kaynaklarda ele alınmıştır [3, 4]. Bir tankın içindeki sıvının hareketi sonsuz sayıda doğal frekansa sahiptir; fakat tank hareketinin oluşturduğu en düşük birkaç mod bu doğal frekans için yeterlidir. Bununla birlikte doğrusal olmayan etkiler, doğal frekanstan biraz farklı frekanslarda ortaya çıkar ve hareketin genliğine bağlıdır.

Tank içinde yapılan perde düzenlemelerinin çalkantı yüklerini azalttığı bilinmektedir. Bu yüzden, birçok araştırmacı değişik perde düzenlemeleri yaparak karmaşık olan çalkantı problemini hem deneysel hem de nümerik olarak incelemiştir. Bu çalışmalarda, doğrusal olmayan çalkantı yükleri incelenmiş ve hidrodinamik sönüm deneysel olarak analiz edilmiştir [5-8]. Tank hareketlerine bağlı olarak meydana gelen serbest sıvı yüzeyi hareketleri, viskoz sınır tabakasından dolayı sönümlendirici kuvvetlerin etkisiyle değişmektedir. Genel olarak, sönümlendirme faktörü, sıvı yüksekliğine, sıvının kinematik özelliklerine ve tankın geometrisine bağlıdır. Bu çerçevede, tank doluluk seviyeleri, tank zorlama frekansları ve genlikleri değiştirilerek basınç değişimleri incelenmiş, geometrik ve fiziksel değişkenlerin serbest yüzey salınımları üzerine etkisi araştırılmıştır [9, 10]. Yapılan çalışmalarda, lineer olmayan bir problem olan çalkantı probleminin analitik ya da sayısal çözümleri her zaman kolay olmadığından bazı kabullerin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda, değişik yöntemlerle yapılan çözümlerin gerçek duruma göre sapma gösterdiği bilinmektedir. O halde, problemin çözümünde ve çalkantı etkilerinin araştırılmasında deneysel yaklaşımların da önemli bir yer tuttuğunu söyleyebiliriz. Bazı araştırmacılar, bu çerçevede deneysel çalışmaların önemini ve yukarıda belirtilen özellikleri vurgulamışlardır [5, 11]. Özellikle, serbest sıvı yüzeyine yakın konumlandırılan perdelerin çalkantı yüklerini daha etkili bir şekilde azalttığı görülmüştür. Ayrıca, lineer olmayan etkilerin doğal frekansa yakın frekanslarda ortaya çıktığı da anlaşılmıştır. Bu çalışmalarda, sıvının serbest yüzeyine yakın konumlandırılan perdelerin çalkantıyı etkili bir biçimde düşürdüğüne, çalkantının frekansının tankın doğal frekansına yakın olduğu durumlarda ise bu olgunun doğrusal olmadığına dikkat çekilmektedir. Bu çerçevede, çalkantı yüklerinin, değişik tank ve perde düzenlemelerinde yapılan analizleri değişik kaynaklarda sunulmuştur [12-17].

Bu çalışmada, kısmi dolu, kapalı, perdeli ve perdesiz iki boyutlu dikdörtgen bir tank içindeki çalkantı hareketleri ve tank duvarına etki eden basınç yükleri iki farklı sayısal metotla incelenmiştir. Bu amaçla tank, sabit bir frekans değerinde taban merkeziden geçen eksen etrafında döndürülerek iki farklı doluluk oranı ve dönme genliğinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında T-şekilli perde yapısı kullanılmıştır. Hesaplamalar sırasıyla sonlu farklar ve sonulu hacim ayrıklaştırması ile laminar ve türbülanslı viskoz akış çözücüler ile iki farklı sayısal yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerden ilki Navier-Stokes denklemlerinin çözümüne dayanırken diğer yöntemde Reynolds-Ortalaması-Alınmış-Navier-Stokes (RANS) denklemleri türbülans modeli eşliğinde ele alınmıştır. Tank doluluk oranı, dönme açısı ve perde yüksekliği sistematik olarak değiştirilerek akış yapısı

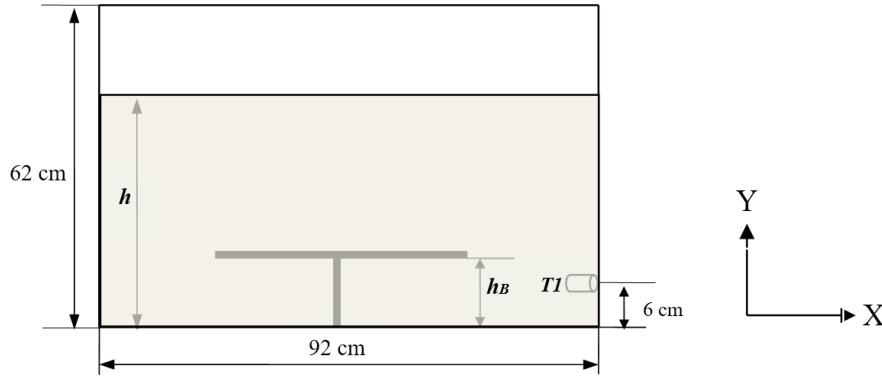
dalga yükseklikleri ve tank duvarı üzerindeki bir noktadan elde edilen basınç sinyalleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş buna bağlı olarak da ele alınan perde düzenlemelerinin efektifliği belirlenmiştir.

SAYISAL ÇALIŞMA

Sayısal Modeller ve Ağdan Bağımsızlık

Kartezyen koordinat sisteminin benimsendiği sayısal çalışmada Şekil 1’de görülen iki boyutlu, T-şekilli perdeli dikdörtgen tank yapısı kullanılmıştır. Tank yüksekliğinin %50 ve %75’i olacak şekilde iki farklı sıvı derinliği (h) ele alınmıştır. T-şekilli perdelerin rijit oldukları kabul edilmiştir. Perde yüksekliklerinin (h_B) sıvı derinliğine oranları her iki doluluk oranı için de 0.5, 0.75, 0.8, 0.9 ve 1.0 olarak seçilmiştir. Tankın sağ duvarının üzerinde bulunan noktadan her vaka için basınç sinyali elde edilmiştir (Şekil 1). Dikdörtgen tanka, tankın doğal frekansı dikkate alınarak belirlenen 3.3 rad/s sabit açısal hız değerinde, XY düzlemine dik ve tabana merkezinden geçen eksen etrafında dönme hareketi uygulanmıştır. Buna göre hareket $\theta = \theta_0 \sin(\omega t)$ biçiminde sinüzoidal bir fonksiyon ile tarif edilmiştir.

Burada θ_0 , ω , t sırasıyla dönme açısını (genlik), açısal hızı ve zamanı ifade etmektedir. Çalışmada 4° ve 8° olmak üzere iki farklı dönme açısı ele alınmıştır. Böylece, dönme açısı, tank doluluk oranı ve perde yükseklikleri sistematik olarak değiştirilerek bunların hidrodinamik yükler ve dalga yükseklikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 1. Sayısal çalışmada kullanılan tank konfigürasyonu

Her iki hesaplama yöntemi için de H-tipi düzenli sayısal ağ örgüsü kullanılmıştır. Sınır tabaka etkisinin tamamen ihmal edildiği viskoz laminar hesaplamalarda tank sınırları “kayan duvar” olarak modellenmiştir. RANS hesaplamalarında ise duvarlarda kaymama koşulu uygulanmıştır.

Sonuçların ağ yapısından bağımsız olduğunun gösterebilmesi maksadıyla her iki hesaplama yönteminde de üç farklı ağ çözünürlüğü ele alınmıştır. Laminar hesaplamalarda, perdesiz vaka için %75 doluluk oranı ve $\theta_0=8^\circ$ vakası için sırasıyla 16×31 , 23×31 ve 46×31 adet ağ elemanı kullanılarak yapılan çalışmalarda, T1 noktasında elde edilen boyutsuz basınç sinyalleri karşılaştırılmıştır. Buna göre 23×31 adet ağ elemanı içeren çözünürlüğün yeterli doğrulukta sonuç verebildiği anlaşılmıştır.

Benzer bir analiz RANS hesaplamaları için de gerçekleştirilmiştir. Yine %75 doluluk oranı ve $\theta_0=8^\circ$ vakası için sırasıyla 1, 2, ve 4 mm aralıklarla oluşturulan üç farklı ağ çözünürlüğü ile T1 noktasında elde edilen basınç sinyalleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 1 ve 2 mm aralık ile oluşturulan ağ örgülerinden elde edilen sonuçların neredeyse örtüşmesi üzerine müteakip çalışmalar bu çözünürlük ile sürdürülmüştür.

Hesaplama Detayları: Viskoz Laminer Hesaplamalar

Ele alınan sayısal metotlardan ilkinde, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi bünyesinde geliştirilmiş olan bir FORTRAN kodu kullanılmıştır. Viskoz laminer akış problemi nümerik olarak, akışkan hacmi (volume of fluid, VOF) tekniğine dayalı bir algoritmadan yararlanılarak çözülmüştür. Tank içindeki akışkan homojen, isotropik, viskoz ve belirli oranda sıkıştırılabilir kabul edilmiştir. Hesaplamalarda hareketli koordinat sistemi kullanılmış ve bunun sonucunda Navier-Stokes denklemlerinde ek bir ivme terimi ve tank yüzeylerinde ise homojen sınır koşulları oluşmuştur. Kurulan model sonlu farklar yöntemini kullanarak ilkel değişkenlerde Navier-Stokes denklemlerini çözmektedir. Her zaman adımında akışkan hacim fonksiyonunun yer değiştirmesini ve buna bağlı olarak serbest yüzey konumunu tespit etmek için “donar-acceptor” yöntemi uygulanmaktadır.

Hesaplama Detayları: RANS Hesaplamaları

Simülasyonlar için zamana bağlı, sıkıştırılamaz RANS denklemleri çözülmüştür. Türbülans alanını ve Reynolds gerilmelerini modellemek için Boussinesq hipotezine dayanan SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır [18]. RANS ve türbülans transport denklemleri sonlu hacim metoduna göre [19] ayrıklaştırılmış ve basınç tabanlı “sıralı” algoritma ile çözülmüştür. Basınç ve hız eşleştirmesi için zamana bağlı çözümlerde daha hızlı sayısal yakınsama sağlayan basınç düzeltme tekniği PISO [20] uygulanmıştır. Basınç ve hız değerlerinin farklı noktalarda tutulduğu “kaydırılmış ağ” [21] tekniğinin kullanıldığı çözümde konvektif terimlerin uzaysal ayrıklaştırması ikinci mertebe akış yönü şeması ile gerçekleştirilirken, viskoz terimlerin için ikinci mertebe merkezi farklar şeması uygulanmıştır. Zamana bağlı ayrıklaştırma için ise sınırlı ikinci derece kapalı şema kullanılmıştır. İki fazlı akış yine VOF tekniğine dayanarak çözülmüş, serbest yüzeyin takibi yüksek doğruluğa sahip ikinci derece şema ile yapılmıştır. Çözümdeki doğruluğun ve çözüm kararlılığının artırılabilmesi amacıyla Courant sayısı [22] civarında tutulacak biçimde zaman adımının dinamik olarak değiştirilmesi sağlanmıştır. Yakınsama kontrolü için ölçeklenmiş artık değerlerin yanısıra akış alanındaki hız ve basınç gibi temel değişkenlerin her zaman adımındaki değişimi incelenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde her iki çözüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar ayrı başlıklar altında derlenmiştir. Sonuçların daha özlü biçimde ele alınabilmesi amacıyla laminer hesaplamalarda yalnızca tüm vakalar için T1 noktasında hesaplanan basınç sinyallerine yer verilirken, sıvı çalkantısının tank hareketinin bir periyodu içinde yer alan farklı fazları ve akım hatları yalnızca RANS simülasyonları için sunulmuştur.

Viskoz Laminer Hesaplamalar

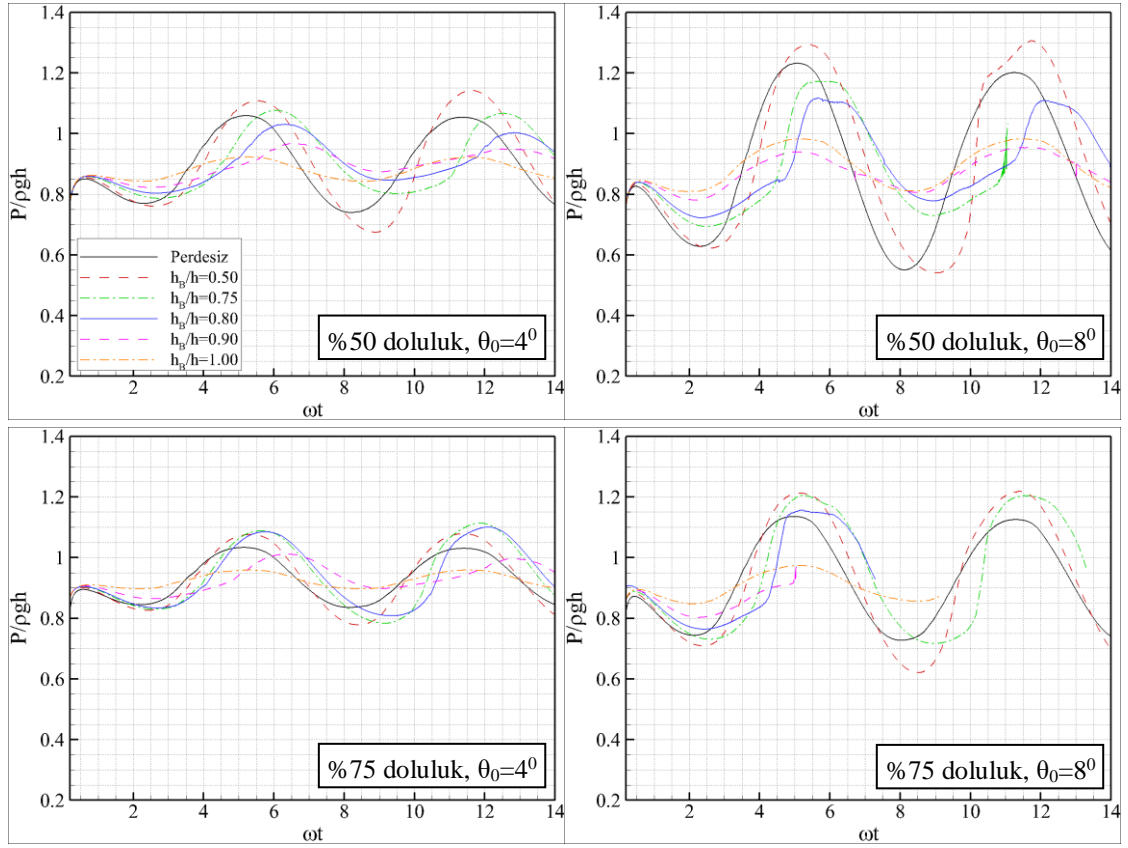
Şekil 2’de, tüm perdeli/perdesiz vakalar için tabandan 6 cm yükseklikte bulunan T1 noktasından elde edilen boyutsuz basınç sinyallerine yer verilmektedir. Aero-hidrostatik ve statik basıncın toplamından oluşan mutlak basınç değerleri, ilgili sıvı yüksekliğine bağlı olarak tabana etki eden hidrostatik basınca göre boyutsuzlaştırılmıştır. Şekilde görülen P , ρ , g , sırasıyla basıncı (Pa), sıvı yoğunluğunu (kg/m^3) ve yerçekimi ivmesini (m/sn^2) ifade etmektedir. Grafikteki eğrilerin bazıları hedeflenen zaman aralığı $\omega t=14$ ’e kadar ilerlememektedir. Bunun nedeni viskoz laminer hesaplamalarda kullanılan bilgisayar kodunun sıvının tankın üst duvarına çarptıktan sonra ortaya çıkan serpinti ve kırıma gibi karmaşık çalkantı hareketleri için tasarlanmamış olmasıdır. Perdesiz vakalara bakıldığında basınç salınımlarının temelde düzenli sinüzoidal yapıda olduğunu söylemek mümkündür. Salınım genliklerinin %50 doluluk oranında her iki dönme açısı için de %75 doluluk oranına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Zira doluluk oranının azalması sistemin doğal frekansını azaltmakta, uygulanan dönme frekansına yaklaştırmaktadır. Şüphesiz, dönme açısının 8^0 ’ye çıkarılması da 4^0 ’deki duruma göre basınç salınımlarının genliğini arttırmıştır. Perdeli vakalar

incelendiğinde %50 doluluk olanı için her iki dönme açısında da $h_B/h \geq 0.8$ olduğunda T-şekilli perdenin efektif biçimde basınç sinyallerinin genliklerini sönümlediği gözlenebilir. Aynı doluluk oranında $h_B/h < 0.8$ olduğu durumda ise salınımların genliğinin daha da artmakta olduğu açıktır. Bunun nedeni takip eden başlık altında sunulan ek grafiklerden anlaşılmaktadır. Benzer bir durum %75 doluluk oranı için de geçerlidir. Ancak bu defa, tank üst duvarına çarpan sıvı nedeniyle sinyalin yalnızca bir bölümü incelenebilse de sonuç, $h_B/h = 0.8$ olduğunda perdenin yetersiz kaldığına işaret etmektedir. $h_B/h > 0.8$ vakalarında ise sinyal genlikleri çok azalmış olsa da bu vakalarda yine sıvının yükselerek tankın üst duvarına çarpmış olduğu anlaşılmaktadır.

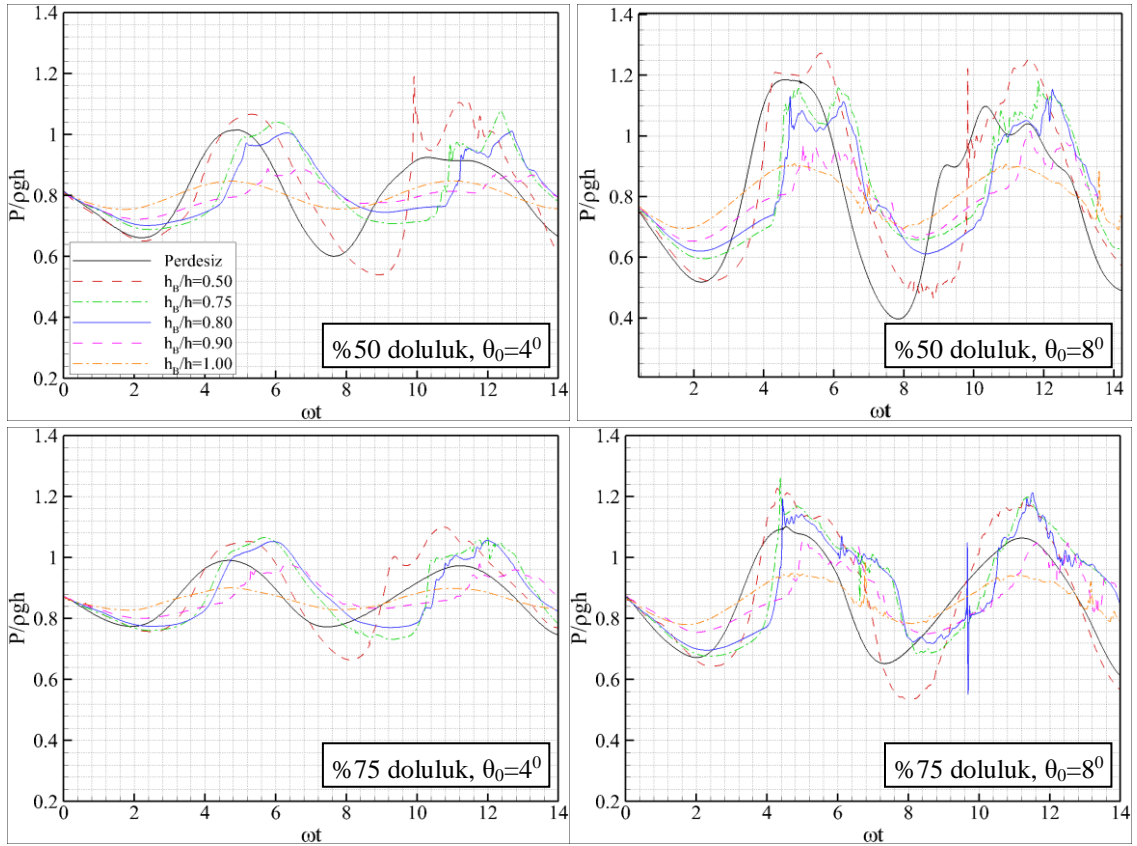
RANS Hesaplamaları

Şekil 3'te RANS hesaplamaları sonucunda T1 noktasından elde edilen boyutsuz basınç sinyalleri sunulmaktadır. Sonuçların önceki başlık altında verilenler ile uyum içinde olduğunu söylemek mümkündür. Karmaşık çalkantı hareketinin daha yüksek hassasiyetle çözümlenebildiği bu sayısal teknikte, laminer çözümde perdesiz vakaların sinyallerinde bulunan sinüzoidal yapının nispeten azaldığı gözlenmektedir. Özellikle perdeli vakalara ait sinyallerde, çalkantı sırasında ortaya çıkan sıvı serpintisi ve serbest yüzey kırılmaları nedeniyle anlık yükseliş/azalışlar göze çarpmaktadır. Sonuçlar, çalışmada ele alınan her iki doluluk oranı ve dönme açısı için de perdenin $h_B/h > 0.8$ vakalarında etkili olduğunu göstermektedir. Örnek olarak, %50 doluluk oranı ve $\theta_0 = 8^\circ$ için, incelenen zaman diliminde, perdesiz durumda boyutsuz basınç değerleri yaklaşık olarak 0.4 - 1.2 aralığında seyrederken, $h_B/h = 1.0$ olduğunda 0.7 - 0.9 arasında sınırlanmıştır. Benzer durum %75 doluluk oranında da gözlenmiş, ancak perdelerin sönümleme etkisinin bir miktar daha az olduğu tespit edilmiştir. Diğer vakalarda ise özellikle çalkantının ikinci periyodunda, ortaya çıkan karmaşık akış yapısını nedeniyle, perdesiz vakalara oranla basınç sinyallerinin genliğinde artış gözlenmektedir. Her iki doluluk oranı ve dönme açısında da perde yüksekliği arttıkça basınç sinyallerindeki salınım periyodunun arttığı gözlenmektedir. $h_B/h = 1.0$ olduğu durumda ise salınım periyodu yeniden perdesiz vakanın salınım periyoduna gerilemektedir.

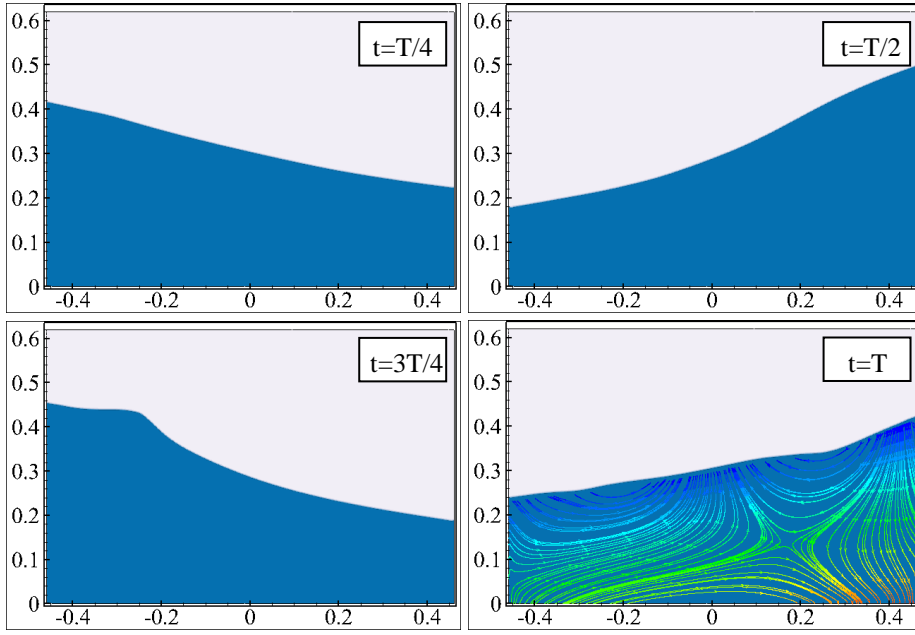
$h_B/h \leq 0.8$ vakalarında basınç sinyallerinde perdesiz vakalara kıyasla görülen artışın Şekil 4 ve Şekil 7 arasında sunulan grafiklerden anlaşılması mümkündür. Grafikler, 8° dönme açısı için %50 ve %75 doluluk oranında sıvı çalkantısının perdeli ve perdesiz durumda bir dönme periyodu (T) içindeki farklı fazlardaki yapısını ortaya koymaktadır. Görüldüğü gibi perdesiz vakalarda (Şekil 4 ve Şekil 5) her iki doluluk oranında da çalkantı sade ve düzenli bir yapıdadır. %50 doluluk oranında yalnızca 0.5 m yükseklik civarına erişebilen sıvı seviyesi %75 doluluk oranında tankın üst duvarına ulaşmaktadır. $t=T$ anı için verilen akım hatları akışta görülen girdap yapılarının az sayıda ve geniş bir alana yayılmış olduklarına işaret etmektedir. Akım hatları serbest yüzeye yakın akışta sıvı ve havanın uyum içinde hareket ettiğini ortaya koymaktadır. $h_B/h = 0.9$ olduğu durumda ise basınç sinyalleri etkili biçimde sönümlenebildiği halde akış topolojisinin çok daha karmaşık olduğu açıkça görülmektedir. Serbest yüzeyde perdesiz vakada görünen hemen hemen pürüzsüz yapı tamamen kaybolmuştur. T-şekilli perde uç girdaplara sebep olmakta ve özellikle $t=3T/4$ anından sonra serbest yüzeyi şiddetli serpinti ve kırılmalara maruz bırakmaktadır. Akım hatlarından, akışta ortaya çıkan girdapların sayısının arttığı ve daha yoğun küçük girdap yapılarının oluştuğu anlaşılmaktadır. Buna göre, sunulan grafikler, T-şekilli perdenin $h_B/h \leq 0.8$ olduğu durumların duvardaki basıncın artmasına neden olması hususuna da açıklık getirmektedir. Perde, yeterli yüksekliğe sahip değilse, çalkantıya yapmış olduğu blokaj etkisinin yanısıra sebep olduğu kuvvetli girdap hareketleri ile çalkantıyı ve dolayısıyla duvara uygulanan basıncı kuvvetlendirebilmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7'de $h_B/h = 0.9$ olduğu durumda ortaya çıkan karmaşık akış yapısına rağmen, perdenin etkili olduğu ve sıvı seviyesinin perdesiz duruma göre azaltılabildiği görülmektedir.



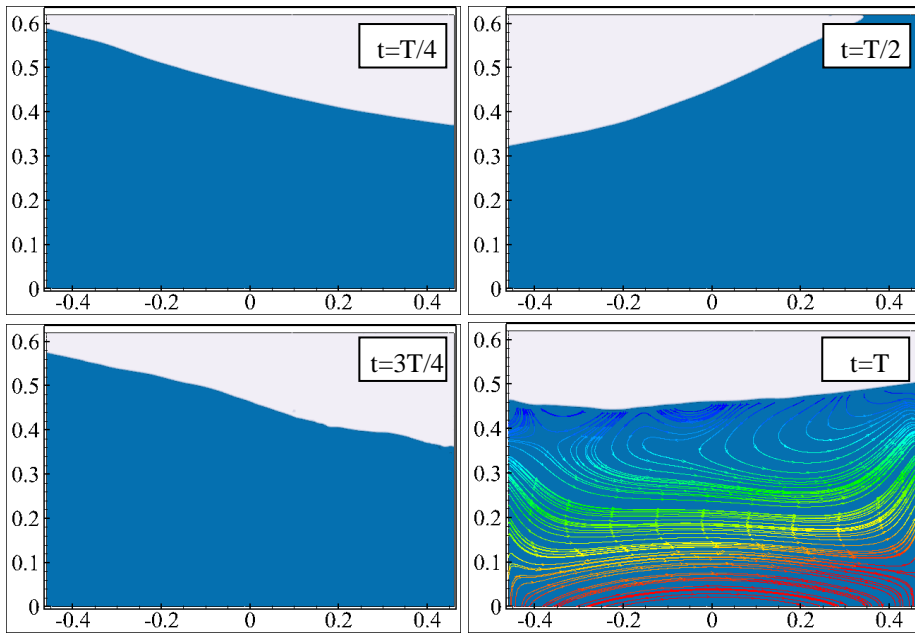
Şekil 2. Farklı doluluk oranı ve dönme açılarında viskoz laminar hesaplamalardan elde edilen boyutsuz basınç sinyalleri



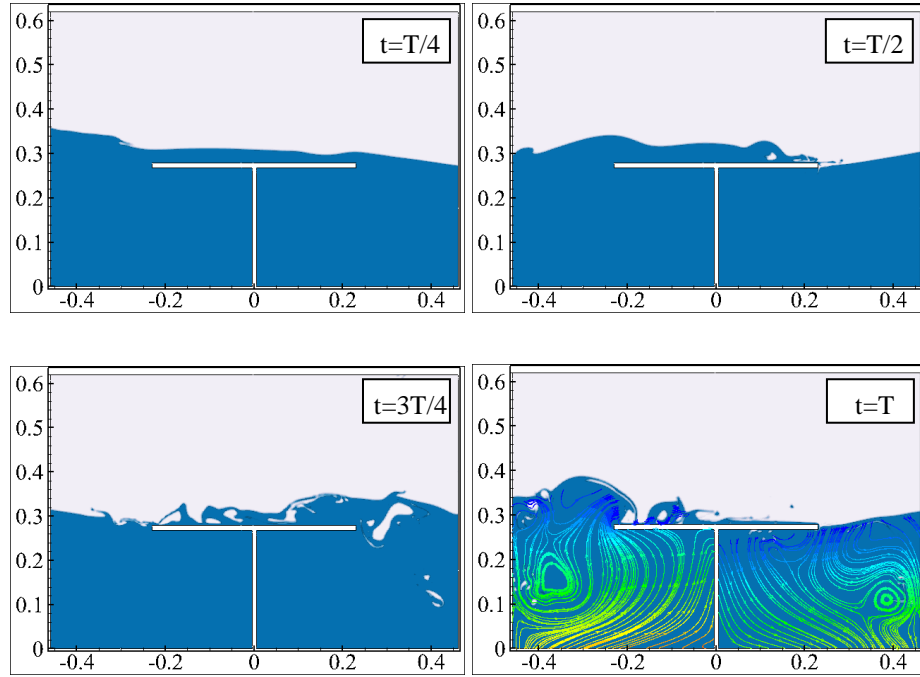
Şekil 3. Farklı doluluk oranı ve dönme açılarında RANS hesaplamalarından elde edilen boyutsuz basınç sinyalleri



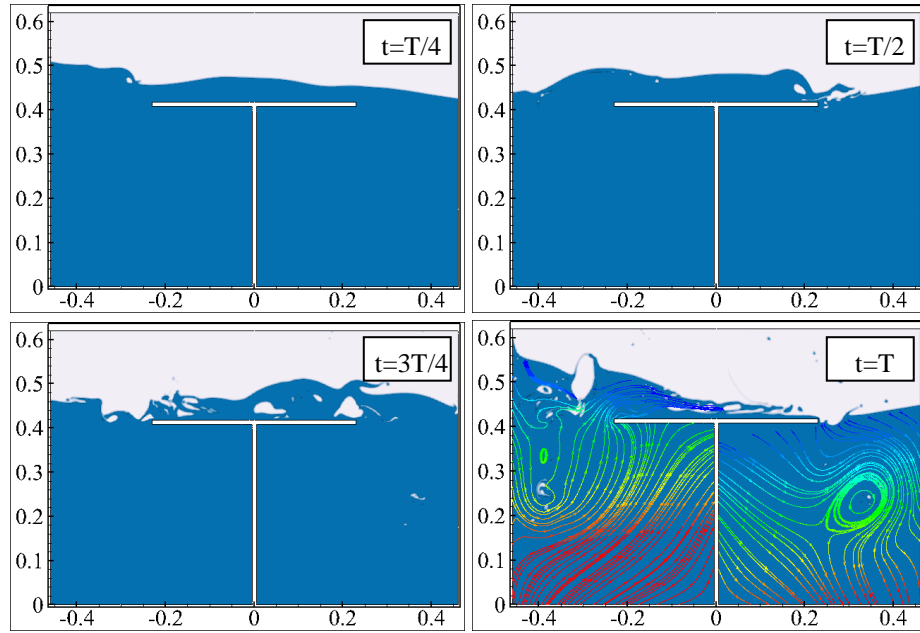
Şekil 4. Farklı fazlardaki çalkantı yapısı ve akım hatları (%50 doluluk, $\theta_0=8^\circ$, perdesiz)



Şekil 5. Farklı fazlardaki çalkantı yapısı ve akım hatları (%75 doluluk, $\theta_0=8^\circ$, perdesiz)



Şekil 6. Farklı fazlardaki çalkantı yapısı ve akım hatları (%50 doluluk, $\theta_0=8^\circ$, $h_B/h=0.9$)



Şekil 7. Farklı fazlardaki çalkantı yapısı ve akım hatları (%75 doluluk, $\theta_0=8^\circ$, $h_B/h=0.9$)

DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı sıvı derinlikleri, dönme açıları ve T-şekilli perde yükseklikleri için, iki boyutlu dikdörtgen bir tank içindeki sıvı çalkantısından dolayı tank duvarında oluşan basınç ve serbest su yüzeyi değişimleri sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmalar, İTÜ bünyesinde geliştirilen bir viskoz laminar akış çözücü ve ayrıca RANS hesaplamaları olarak ticari bir akış çözücü paketi ile gerçekleştirilmiştir.

Tankın sağ duvarı üzerindeki belirli bir noktadan alınan basınç sinyalleri her iki yöntem ile yüksek uyum içinde hesaplanmıştır. Basınç sinyallerinin salınım genliklerinin her iki dönme açısında da doluluk oranının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Dönme açısının artırılması ise tank içindeki çalkantının da önemli ölçüde artmasına ve dolayısıyla salınım genliklerinin yükselmesine neden olmuştur. T-şekilli perdenin, perdesiz durumda görülen sade yapıdaki çalkantının bozulmasına, serpinti ve dalga kırılması hadiselerine yol açarak karmaşık ve girdaplılık seviyesi daha yüksek bir akış yapısı sergilemesine neden olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak da perde yüksekliğinin sıvı seviyesinin %80'ine eşit ya da daha küçük olduğu durumlarda, perdeler tank duvarındaki basıncın ve dalga yüksekliklerinin artmasına neden olmuştur. Perde yüksekliğinin daha fazla artırılması ise çalkantı hareketini büyük ölçüde bloke ederek basınç ve dalga yüksekliklerini ciddi oranda sönümlemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ibrahim, R.A., 2005. Liquid Sloshing Dynamics: Theory and Applications. Cambridge University Press, New York.
- [2] Faltinsen, O.M., Timokha, A.N., 2009. Sloshing. Cambridge University Press, New York.
- [3] Ibrahim, R.A., Pilipchuk, V.N., Ikeda, T., 2001. Recent Advances in Liquid Sloshing Dynamics, Applied Mechanical Review 54(2), pp. 133-199.
- [4] Faltinsen, O.M., Timokha, A.N., 2001. An adaptive Multimodal Approach to Nonlinear Sloshing in a Rectangular Tank, Journal of Fluid Mechanics, 432, pp. 167-200.
- [5] Akyildiz, H., Unal, E.N., 2005. Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid sloshing, Ocean Engineering, 32, pp. 1503-1516.
- [6] Akyildiz, H., Unal, E.N., 2006. Sloshing in a three dimensional rectangular tank : Numerical simulation and experimental validation, Ocean Engineering, 33(16), pp. 2135-2149.
- [7] Pal, P., Bhattacharyya, S.K., 2010. Sloshing in partially filled liquid containers – Numerical and experimental study for 2-D problems, Journal of Sound and Vibration, 329, pp. 4466-4485.
- [8] Younes, M.F., Younes, Y.K., El-Madah, M., Ibrahim, I.M., El-Dannanh, E.H., 2007. An experimental investigation of hydrodynamic damping due to vertical baffle arrangements in a rectangular tank, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 221, pp. 115-123.
- [9] Eswaran, M., Saha, U.K., Maity, D., 2009. Effect of baffles on a partially filled cubic tank: Numerical simulation and experimental validation, Computers and Structures, 87, pp. 198– 205.
- [10] Chen, Y.G., Djidjeli, K., Price, W.G., 2009. Numerical simulation of liquid sloshing phenomena in partially filled containers, Computers & Fluids, 38, pp. 830– 842.
- [11] Panigrahy, P.K., Saha, U.K., Maity, D., 2009. Experimental studies on sloshing behavior due to horizontal movement of liquids in baffled tanks, Ocean Engineering, 36(3-4), pp. 213-222.

- [12] Jung, J.H., Yoon, H.S., Lee, C.Y., Shin S.C., 2012. Effect of the vertical baffle height on the liquid sloshing in a three-dimensional rectangular tank. *Ocean Engineering*, 2012, 44, 79-89.
- [13] Akyıldız, H., 2012. A numerical study of the effects of the vertical baffle on liquid sloshing in two-dimensional rectangular tank. *J. Sound Vib.* 331, 41–52.
- [14] Shao, J. R., Li, Z.R., Liu, M.B., 2015. A comparative study of different baffles on mitigating liquid sloshing in a rectangular tank due to a horizontal excitation. *Engineering Computations*, 32 4, 1172-1190.
- [15] Koh, C.G., Luo, M., Gao, M., Bai, W., 2013. Modelling of liquid sloshing with constrained floating baffle. *Computers and Structures*. 122, 270-279.
- [16] Wu, C.H., Faltinsen, O. M., Chen, B.F., 2012. Numerical study of sloshing liquid in tanks with baffles by time-independent finite difference and fictitious cell method. *Computers & Fluids*, 63, 9-26.
- [17] Wu, C. H., Faltinsen, O. M., Chena, B. F., 2015. Dynamics of vortex evolution in a 2D baffled tank. *Computers & Mathematics with Applications* doi:10.1016/j.camwa.2015.10.007
- [18] Menter, F.R., 1994. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications, *AIAA Journal*, 32(8), 1598-1605.
- [19] Blazek, J., 2001. *Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications*, Elsevier, Oxford, UK.
- [20] Issa, R.I., 1986. Solution of the Implicitly Discretized Fluid Flow Equations by Operator Splitting, *Journal of Computational Physics*, 62(1), 40-65.
- [21] Patankar, S.V. and Spalding, D.B., 1972. A Calculation Procedure for Heat, Mass and Momentum Transfer in Three-Dimensional Parabolic Flows, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 15, 1787-1806.
- [22] Courant, R.; Friedrichs, K.; and Lewy, H, 1967. On the Partial Difference Equations of Mathematical Physics. *IBM J.* 11, 215-234.